

**Ипатов А.В.<sup>1</sup>, Варганов М.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт прикладной астрономии  
Российской академии наук

<sup>2</sup> ЗАО «Институт прикладной астрономии»

## **Комплекс средств фундаментального координатно-временного обеспечения ГНС ГЛОНАСС**

*Рассмотрены назначение, принципы организации и состав комплекса фундаментального для ГНС ГЛОНАСС. Сформулированы решаемые им задачи и направления развития.*

**Ключевые слова:** ГЛОНАСС, методы наблюдений, вращение Земли, РСДБ, колокация

Комплекс средств фундаментального обеспечения (КСФО) представляет собой совокупность измерительных средств, предназначенных для получения и распространения координатно-временной информации высшей точности для обеспечения бесперебойной работы ГНС ГЛОНАСС и ее функциональных дополнений. Он устанавливает параметры опорных систем координат и определяет временное поле и, таким образом, обеспечивает метрологическое единство, высокую точность и взаимную согласованность всех координатно-временных и навигационных определений.

Основными задачами комплекса средств фундаментального обеспечения являются:

1. Установление, поддержание и расширение небесной опорной системы координат.
2. Установление, поддержание и расширение земной опорной системы координат.
3. Определение и мониторинг параметров взаимной ориентации небесной и земной систем координат — параметров вращения Земли.
4. Развитие и поддержание первичной эталонной базы единой системы времени и эталонных частот и средств её синхронизации.
5. Построение эфемерид тел Солнечной системы и космических аппаратов.
6. Определение параметров гравитационного поля Земли.
7. Определение параметров земной атмосферы и ионосферы.

Необходимо отметить, что при современном уровне точности измерений все эти задачи оказываются принципиально связанными друг с другом, при этом требования ряда прикладных задач к точности и оперативности координатно-временного и навигационного обеспечения оказываются более жесткими, нежели требования, выдвигаемые фундаментальной наукой [1].

Установление небесной и земной систем координат дает независимую и универсальную опору для определения положений и движений всех материальных объектов на поверхности Земли и в окружающем космическом пространстве. Создание и поддержание этих систем, вместе с непрерывным мониторингом параметров их взаимной ориентации, представляет собой основную задачу современной астрометрии и космической геодезии. К ее решению предъявляются наивысшие требования точности, которые в настоящее время уже достигли величин 0.0001 угловой секунды (~3 мм в линейной мере на поверхности Земли). При этом некоторые фундаментальные и прикладные задачи уже требуют точности микросекундного уровня.

[Введите текст]

Основой небесной системы координат на ближайшую перспективу является система ICRS (International Celestial Reference System), практически реализованная высокоточными каталогами координат опорных радиодисточников ICRF (International Celestial Reference Frame). Эта система устанавливается и поддерживается исключительно средствами радиointерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). При этом в настоящее время точность определения координат опорных радиодисточников в среднем составляет доли миллисекунды дуги.

Определение параметров вращения Земли (ПВЗ) осуществляется в рамках специальных международных и национальных служб и практически реализуется средствами РСДБ, ГНСС, лазерной локации ИСЗ и DORIS. При этом в настоящее время точность определения ПВЗ (координаты полюса, всемирное время и длительность суток, углы нутации и прецессии) составляет доли миллисекунды дуги.

Средствами для создания системы единого времени и эталонных частот являются атомные стандарты времени и частоты наземного и космического базирования. В настоящее время долговременная нестабильность атомных стандартов достигает  $(3\div 5)\times 10^{-15}$ . Высокоточная синхронизация стандартов осуществляется передачей сигналов через геостационарные спутники и по оптоволоконным линиям связи. Точность синхронизации этими средствами достигает в настоящее время 100пс.

Основными техническими средствами для установления динамической системы координат, реализуемой эфемеридами тел Солнечной системы, являются лазерная локация Луны, радиолокация больших и малых планет (РЛ), доплеровские и РСДБ-наблюдения космических аппаратов, оптические наблюдения внешних планет, их спутников и малых планет. Особое прикладное значение имеют динамические системы, используемые в космической геодезии и реализуемые эфемеридами искусственных спутников Земли, точность которых составляет несколько метров.

Для установления параметров гравитационного поля Земли в настоящее время наиболее перспективными средствами являются специализированные ИСЗ на низких орбитах. С их помощью за рубежом достигнута сантиметровая точность измерения высот геоида, что соответствует точности координатно-временных измерений.

Исследование свойств земной атмосферы осуществляется прямыми измерениями с помощью радиометров водяного пара (WVR — Water Vapor Radiometer).

Основные задачи КСФО - создавать и непрерывно поддерживать независимую фундаментальную координатно-временную основу для позиционных и навигационных определений на поверхности Земли, в околоземном пространстве и в дальнем космосе в интересах фундаментальной науки, обороны и народного хозяйства страны.

КСФО ГЛОНАСС (рис. 1) состоит из трех составляющих:

- комплекс средств определения и прогнозирования ПВЗ (параметров вращения Земли);
- комплекс средств формирования UTC (SU) (времени);
- комплекс средств уточнения фундаментальных астрономо-геодезических параметров.

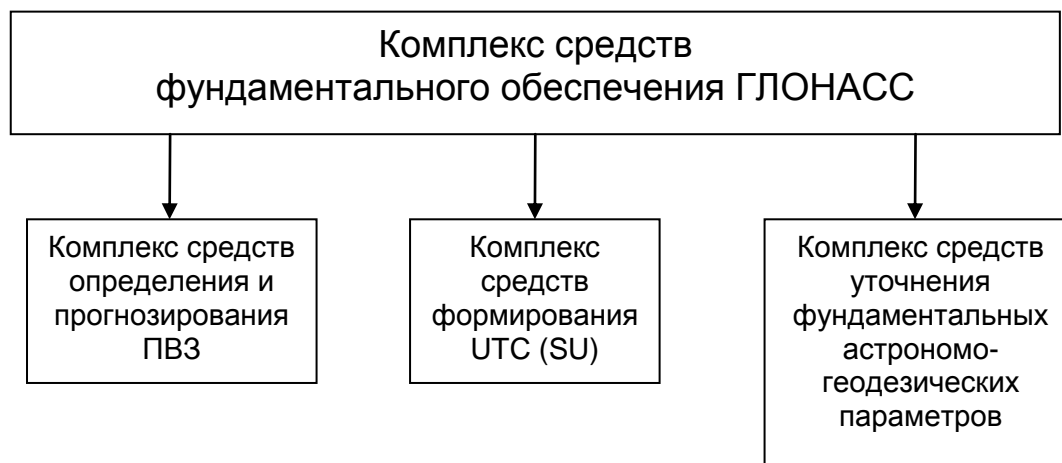


Рисунок 1

1. Комплекс средств определения и прогнозирования ПВЗ обеспечивает:

- установление, поддержание и расширение небесной системы координат радиоисточников;
- установление, поддержание и расширение земной системы координат опорных станций;
- определение и мониторинг параметров вращения Земли;
- развитие и поддержание первичной эталонной базы единой системы времени и эталонных частот и средств её синхронизации.

Решение выше перечисленных задач обеспечивают радиоинтерферометры со сверхдлинной базой [2], средства лазерной локации космических аппаратов, геодезические приемники ГНС и средства системы DORIS. [3]

2. Комплекс средств формирования времени формирует и поддерживает национальную шкалу времени и содержит:

- эталоны времени и частоты Государственной системы единого времени и эталонных частот (ГСЕВЭЧ);
- эталонные средства Минобороны (МО) России;
- средства сравнения пространственно-разнесенных эталонов времени и частоты.

3. Комплекс средств уточнения фундаментальных астрономо-геодезических параметров обеспечивает:

- построение эфемерид тел Солнечной системы и космических аппаратов;
- установление параметров гравитационного поля Земли;
- определение геоцентра Земли;
- определение параметров земной атмосферы.

Определение фундаментальных параметров обеспечивается средствами лазерной локации Луны и планет, доплеровскими и РСДБ-наблюдениями космических, в том числе и спускаемых, аппаратов. Развитие этих методов наблюдений обеспечило возможность построения эфемерид нового поколения, которые основаны на высокоточных моделях движения небесных тел, реализуемых путем численного интегрирования уравнений движения планет и Луны[4].

[Введите текст]

Параметры гравитационного поля Земли определяются с помощью наземных измерений и измерений низкоорбитальных космических аппаратов. При выводе параметров модели гравитационного поля ПЗ-90 использовались лазерные, радиотехнические дальномерные и доплеровские измерения с наземных пунктов, радиовысотомерные измерения спутника ГЕО-ИК за период 1985–1989 гг., измерительная информация средств наземного комплекса ГЛОНАСС, средние аномалии силы тяжести [5].

Определение геоцентра (центра масс Земли), включая океаны и атмосферу, реализуется посредством наблюдений спутников, движущихся в гравитационном поле Земли. Как показывает анализ спутниковых наблюдений, положение геоцентра в системе, фиксированной относительно твердой коры, меняется в пределах нескольких миллиметров. Такое «движение геоцентра» вызвано перемещением нетвердых планетарных масс, главным образом в атмосфере и океанах, а также континентальным гидрологическим циклом. Это движение включает приливные, сезонные и небольшие вековые компоненты. Вариации положения геоцентра могут быть определены из спутниковых наблюдений.

Определение параметров земной атмосферы.

Прямые измерения интегрального содержания водяного пара проводятся на луче зрения с помощью специального радиометра WVR. Радиометр WVR измеряет яркостную температуру собственного радиоизлучения тропосферы на двух длинах волн вблизи резонансных линий поглощения водяного пара -1.35 см и кислорода -0.8 см [6].

КСФО обеспечивает определение в реальном масштабе времени основных координатно-временных и навигационных данных с точностями не хуже:

1. Десятых долей миллисекунды дуги, при определении координат естественных и искусственных космических радиисточников и микросекунд дуги при построении их изображений.
2. Микросекунд дуги, при определении параметров Солнечной системы — фундаментальных астрономических постоянных.
3. Миллиметров, при определении трехмерных координат точек земной поверхности и глобальных расстояний, включая расстояния между континентами.
4. Миллиметров в год, при определении движения точек земной коры, в том числе глобальных тектонических движений.
5. Миллиметров и десятков микросекунд, при определении параметров вращения Земли (координат полюса, всемирного времени, длительности суток, прецессии и нутации) с внутрисуточным временным разрешением.
6. Десятков пикосекунд, при синхронизации атомных шкал времени, разнесенных на глобальные расстояния.

Для повышения точности координатно-временной информации технические средства КСФО развиваются в следующих направлениях:

1. Объединение сети колоцированных (РСДБ, GPS/ГЛОНАСС, системы лазерной локации ИСЗ, DORIS) наблюдательных пунктов волоконно-оптическими линиями связи со скоростями передачи не менее 20 Гбит в секунду, обеспечивающими управление, передачу данных и обработку координатно-временной и навигационной информации в реальном времени.

2. Разработка и производство передвижных (транспортируемых и мобильных) геодинимических станций, объединяющих средства РСДБ, GPS/ГЛОНАСС и лазерных наблюдений ИСЗ.
3. Развитие РСДБ-сети страны путем введения в комплекс «Квазар-КВО» 70-метрового радиотелескопа в г. Уссурийск и ряда (2–5) передвижных геодинимических станций.
4. Введение в строй мощного радиолокатора на базе 70-метрового радиотелескопа в г. Уссурийске.
5. Создание нового, многостанционного (не менее 10 станций) программируемого РСДБ коррелятора, обеспечивающего обработку потоков данных со скоростями не менее 16 Гбит в секунду в любом формате исходных данных.
6. Совершенствование Государственного эталона времени и частоты нового поколения, оснащение вторичных и рабочих эталонов современными хранителями времени и частоты и высокоточными средствами их сличения.
7. Разработка и организация серийного производства радиоэлектронной аппаратуры, и в первую очередь, высокочувствительных приемных устройств S/X и X/K диапазонов и цифровых радиометрических терминалов для потоков 16 Гбит в секунду.
8. Оснащение 80–100 опорных пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети геодезическими приемниками GPS/ГЛОНАСС, а позднее и Galileo.
9. Оснащение ряда геодезических и геодинимических пунктов абсолютными и относительными гравиметрами нового поколения.
10. Создание WWR-радиометров и оснащение ими базовых геодезических и геодинимических пунктов.
11. Разработка универсального программного обеспечения для совместной обработки и анализа различных типов координатно-временных и навигационных данных.
12. Создание базы данных фундаментальной координатно-временной и навигационной информации.
13. Создание центра обработки и анализа фундаментальных координатно-временных и навигационных данных и оснащение его кластерной системой для вычислений и хранения базы данных.

#### Библиографический список

1. Федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012 – 2020 годы», утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации № 189 от 3 марта 2012 г.
2. Финкельштейн А М и др. Определение параметров вращения Земли из наблюдений на РСДБ-сети «Квазар-КВО» // Труды ИПА РАН. СПб.: Наука, 2012. Вып. 23. С. 55–60.
3. Красовский П.А., Костромин В.П., Кошеляевский Н.Б. Сличение территориально удаленных часов // Труды ИПА РАН. СПб., Наука, 2009. Вып. 20. С. 203–214.
4. Ерошкин Г.И., Пашкевич В.В. Геодезическое вращение больших планет, Луны и Солнца // Труды ИПА РАН. СПб., Наука, 2009. Вып. 20. С. 255–260.
5. Кузин С.П., Татевян С.К. Исследования движения геоцентра по данным спутниковой геодезии // Труды ИПА РАН. СПб., Наука, 2005. Вып. 13. С. 478–482.
6. Быков В. Ю., Ильин Г. Н., Кайдановский М. Н. Аппаратура системы измерения электрических характеристик тропосферы // Труды ИПА РАН. СПб., Наука, 2010. Вып. 21. С. 255–269.